Pedobiologia 33, 167–172 (1989)
VEB Gustav Fischer Verlag Jena

Zur Beurteilung der Enchyträen- und Collembolen-Aktivität mit Hilfe von Bodendünnschliffen

ULRICH BABEL und HANS-JÖRG VOGEL

Mit 2 Abbildungen

(Angenommen: 89-01-04)

1. Einleitung

Seit den frühen Arbeiten von KUBIENA (z. B. 1943) wird versucht, aus dem Auftreten von Exkrementen saprophager Bodentiere in Bodendünnschliffen auf die Rolle der verschiedenen Tiergruppen bei der Streuverarbeitung und Gefügebildung in Böden zu schließen. Ein solcher Schluß läßt sich dort kontrollieren, wo parallel zu den mikromorphologischen Untersuchungen die Bodentiere selbst untersucht werden.

In Untersuchungen von FUNKE (1986) und seinen Mitarbeitern war in den ersten 2 Jahren nach Düngung eines Fichtenbestandes mit Humusform Moder eine Abnahme der Enchyträen und eine Zunahme der Collembolen gefunden worden. Die Exkremente (Losungen) dieser beiden Tiergruppen sind etwa isometrische Aggregate, die höchstens 200 µm groß sind und die sich nach einer eingehenden Arbeit von RUSEK (1975) in Form und Zusammensetzung unterscheiden. In Bodenanschliffen von den Funkeschen Flächen mit und ohne Düngung wurden keine Unterschiede in den Gesamtmengen solcher Kleinaggregate gefunden (VOGEL, 1988, und Tab. 1). In ähnlichen Humusprofilen war früher eine Abnahme der Kleinaggregate nach Abnahme der Enchyträen-Abundanz innerhalb von 5 Monaten aufgetreten (VAVOULIDOU-THEODOROU & BABEL, 1987). Nun wurden Dünnschliffe für die genauere Untersuchung der Form und Zusammensetzung der Kleinaggregate hergestellt.

RUSEK (1975) arbeitete in verschiedenen Ausbildungen xerothermer Rendzinen. Für den Vergleich recht verschiedener Standorte gilt sein Ergebnis offensichtlich nicht (Tab. 2). Das erklärt sich im Prinzip leicht aus den Verschiedenartigkeiten von Tierarten und Nahrung. Für die Schwierigkeit der Unterscheidung kann VAN VLIET-LANOE (1987) zitiert werden. Sie gibt „Collembolen oder Enchyträen" als Urheber von 50–200 µm großen glatten organomineralischen „Bacillo-Cylindern" an. Aus dieser Situation heraus weisen MURPHY *et al.* (1985) darauf hin, daß bei Dünnschliffbeschreibungen Aggregate, auch wenn für Losungen bestimmter Tiere gehalten, zunächst rein morphographisch zu beschreiben seien.

Hinweise können auch Darminhaltuntersuchungen, die nicht an Dünnschliffen ausgeführt werden, geben. DUNGER (1963) gibt für eine große Enchyträen-Art (*Fridericia sp.)* als maximale Bißgröße 500 µm an, für Collembolen bei großen Unterschieden zwischen den Arten 40–170 µm. TAKEDA & ISHIMURA (1983) machen leider keine Größenangaben zu den Partikeln im Darm mehrerer Collembolenarten.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungsfläche liegt am Südost-Rand der Schwäbischen Alb bei Ulm (Universitätswald Abt. 8; 613 m N. N., 745 mm Jahresniederschläge, 7,7 °C mittlere Jahrestemperatur). Der etwa 60–70jährige Fichtenbestand stockt auf einer pseudovergleyten Parabraunerde aus Pliocän-Tonen mit Löß-Einfluß und mit einer 3–4 cm mächtigen Humusauflage (Humusform Moder). Untersucht wurde eine unbehandelte und eine 2 Jahre vor der Bodenprobennahme gedüngte Parzelle. Eine genaue Standorts- und Versuchsbeschreibung findet sich bei ROTH (1984). Einige der Ergebnisse von FUNKE (1986) und von VOGEL (1988) sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tabelle 1. Effekt einer Düngung in einem Fichtenbestand auf Enchyträen, Collembolen und als Losungen dieser Tiere angesehene Kleinaggregate im H-Horizont.

		unbehandelt	gedüngt (Frühjahr 1984)
Enchyträen[1]			
Ind./m² 1985		27000	4400
Ind./m² 5.1986		6600	1500
euedaphische[2] Collembolen			
Ind./m² 1985		93000	144000
Kleinaggregate[3] im H-Horizont am 12. 5. 1986			
keine	0	31	21
sehr wenige	1	68	67
wenige	2	45	57
mittel	3	14	22
viele	4	0	3
sehr viele	5	0	0

[1] nach FUNKE 1986; für 1985 Mittelwerte aus 5 Terminen: 2., 4., 6., 8., 10. 1985)
[2] nach FUNKE 1986; Mittelwerte aus 7 Terminen: 2., 4., 6., 8., 9., 10., 12. 1985; – die Zunahme nach der Düngung wird vorwiegend bewirkt durch die Arten *Onychiurus armatus*, *Folsomia quadrioculata*, Isotomiella paraminor.
[3] nach VOGEL 1988; Stereomikroskop 50x, je etwa 20 Testquadrate (2 mm × 2 mm) auf 7 bzw. 8 Anschliffen pro Fläche (Breite je 6 cm); angegeben sind die Häufigkeitsverteilungen auf der standardisierten Schätzskala 0–5.

Von den beiden Parzellen wurden je 4 Dünnschliffe (ca. 35 mm breit, 25 mm hoch) hergestellt und zwar jeweils von solchen H-Horizonten, in denen Kleinaggregate nach Untersuchung der je 8 Anschliffe (60 mm × 80 mm) besonders häufig waren. Aus jedem Dünnschliff wurden 15 Aggregate zufällig ausgewählt und gezeichnet (Beispiele in Abb. 1). Zu diesem Zweck wurden unter dem Durchlichtmikroskop (250×) Testquadrate (Kantenlänge 100 µm im Objekt) systematisch über die Schlifffläche verteilt und die ersten 15 Aggregate gezeichnet, die

- mit 75 % ihres Umfangs innerhalb eines Testquadrates lagen,
- mit 75 % ihres Umfangs an Hohlräume grenzten,
- einen maximalen Durchmesser von mindestens 50 µm hatten,
- aufgrund ihrer Zusammensetzung nicht offensichtlich Teil größerer Aggregate waren (z. B. zusammenhängender Geweberest innerhalb benachbarter Aggregate oder Bruchstück einer größeren Einheit).

Die Zeichnungen wurden bei 630facher Vergrößerung mit Hilfe einer Zeicheneinrichtung am Mikroskop hergestellt. So wurden 60 Aggregate pro Parzelle mit einem Durchmesser zwischen 50 und 130 µm erfaßt. In den untersuchten Dünnschliffen liegen 16 Vol.-% der Feinsubstanz in derartigen Aggregate vor. Von den in den Dünnschliffen vorkommenden Aggregaten, die der Form und Zusammensetzung nach Losungen sein könnten, liegen etwa 3/4 in dieser Größenklasse.

An den Zeichnungen wurde ermittelt:

Form: Mit einem halbautomatischen Bildanalysegerät (MOP-Am02 von Kontron) wurden Fläche A, Umfang U und maximaler Durchmesser bestimmt. Aus dem Verhältnis von Fläche zu Umfang wurde der Formfaktor F nach FISCHMEISTER als Maß für die Abweichung von der Kreisform berechnet ($F = 4\pi A/U^2$, Werte zwischen 0 und – für den Kreis – 1).

Zusammensetzung: Aufgrund ihrer Zusammensetzung wurden 3 verschiedene Typen von Kleinaggregaten unterschieden (**vgl. Abb. 1**):

Typ A: heterogener Aufbau aus Zell- und Geweberesten unterschiedlicher Färbung, Mineralkörnern und Punktierungen, keine Bestandteile > 40 µm.
Typ B: wie A, aber einzelne wenig veränderte Gewebereste > 40 µm.
Typ C: überwiegend hochchromatische, rötlich-braune Zellreste < 20 µm, keine Mineralkörner.

Tabelle 2. Morphographie von Enchyträen- und Collembolenlosungen in Bodendünnschliffen (Literatur).

Autor	Untersuchungsmaterial	Tiergruppe	Morphographie der Losungen: Größe [µm]	Form[0]	Zusammensetzung[0]
ZACHARIAE, 1963	Laub- und Nadelwälder in der BRD	Collembolen epedaphische[1]	120–250	rundlich, rauhe Oberfläche	„reichlich Zellwandsplitter"
		[2]	50–180	„zerfließende Tröpfchen bis zu festen, runden oder länglichen Krümeln"	„schwärzliche Masse ohne Zellulosereste"
		euedaphische	20–80	Tröpfchen oder Kleckse	braune bis schwarze Masse, kaum feste Bestandteile
ZACHARIAE, 1964	Laub- und Nadelwälder in der BRD	Enchyträen	n. b. [3] (ca. 50–100)	körniges Pulver aus zerbrochenen Exkrementen, leicht zu verwechseln mit Losungen von Arthropoden	Partikelgröße ± wie in der Nahrung
BABEL, 1968/69	Ah in Löß, mullartiger Moder	Enchyträen	40–100, meist ca. 60	körnig bis schwach eiförmig	Schluffkörner und org.-min. Feinsubstanz
RUSEK, 1975	xerotherme Rendzinen (Felssteppe, Grassteppe, Eichenwälder)	Enchyträen	bis 120–200	extrem unregelmäßig	große Pflanzenreste, Pilzhyphen, Mineralpartikel
		Collembolen	30–90 (–> 100)	unregelmäßig rund	schwarze oder braune Masse, meist mit kleinen Mineralpartikeln
BAL, 1982 (p. 195 ff.)	A_1-Material in Gefäßversuchen	Enchyträen (Fridericia galba)	100–115	well-shapen bacillocylindrical	v. a. organo-mineralische Feinsubstanz
			65	ill-shapen amoebospheres	mehr größere Mineralkörner

[0] Angaben weitgehend in der Ausdrucksweise der Autoren
[1] Nahrung: Blätter;
[2] Nahrung: Pilze, Bakterienschleime u. a.;
[3] angefügt ist grobe Angabe nach Fotos.

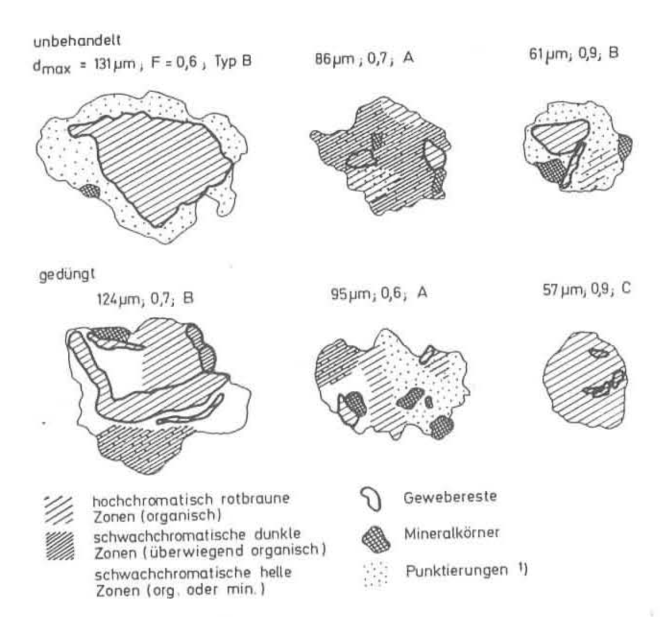


Abb. 1. Beispiele von Kleinaggregaten aus dem H-Horizont von unbehandelter und gedüngter Parzelle. Zu jedem ist der maximale Durchmesser, der Formfaktor und der Typ der Zusammensetzung angegeben. (Die Beispiele sind für beide Parzellen jeweils das größte, mediane und kleinste der erfaßten 60 Aggregate.) Anm: Unter Punktierungen (punctuations) sind nach BULLOCK *et al.*, 1985 etwa 1 µm große dunkle körnige organische Einheiten zu verstehen.

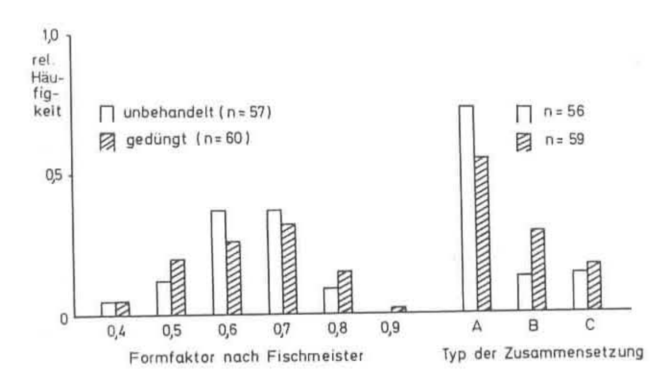


Abb. 2. Form und Zusammensetzung zweier Stichproben von Kleinaggregaten aus je 4 Dünnschliffen von H-Horizonten der unbehandelten und der gedüngten Parzelle.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abb. 2 graphisch dargestellt.

3.1. Form

Die Formfaktoren nach FISCHMEISTER zeigen keine Unterschiede zwischen den Kleinaggregaten der unbehandelten und der gedüngten Parzelle. (Dies gilt auch für die Häufigkeit der Formfaktoren 0,8 und 0,9, die eine Tendenz zu einem größeren Anteil stärker gerundeter Kleinaggregate in der Düngungsparzelle suggerieren.)

3.2. Zusammensetzung

Die größere Häufigkeit von Typ B (Kleinaggregate mit größeren Geweberesten) in der Düngungsfläche ist statistisch gesichert. Dazu muß eine Einschränkung gemacht werden: Die Stichproben der Kleinaggregate sind sehr stark gehäuft; sie stammen aus 4 Teilflächen von ca. 25 mm × 35 mm Größe pro Parzelle, nämlich den Dünnschliffen. Der gefundene Unterschied wäre nicht nur für diese Dünnschliffe, sondern auch für die ganze Parzellen gültig, wenn die Werte für die 2 × 4 Dünnschliffe als Einzelbeobachtungen betrachtet ebenfalls statistisch gesichert verschieden wären. Das ist nicht der Fall (nach χ^2-Test etwas mehr als 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).

4. Diskussion

Obwohl in der Düngungsparzelle zweifellos die Enchyträen-Aktivität abgenommen und sehr wahrscheinlich die Collembolen-Aktivtät zugenommen hat, finden sich keine erkennbaren Änderungen in Menge und Form der Kleinaggregate. (Lediglich in der inneren Zusammensetzung der Kleinaggregate zeigt sich andeutungsweise ein häufigeres Auftreten größerer Gewebefragmente. Das könnte durch stärkere Aktivität von Collembolen bedingt sein, die häufig Primärzersetzer sind. Enchyträen sind in der Regel Sekundärzersetzer.)

Ein sicheres Hilfsmittel für die Abschätzung der streuverarbeitenden Aktivität beider Tiergruppen sind die Losungsuntersuchungen an Dünnschliffen also in diesem Fall nicht. Von einer einigermaßen sicheren Unterscheidbarkeit ihrer Losungen kann hier keine Rede sein.

Daß die Losungsmengen gleich geblieben sind, läßt aber vermuten, daß die Collembolen einen Teil der Aktivität der durch Düngung zurückgedrängten Enchyträen übernommen haben. Die weitgehend gleiche Form und Zusammensetzung der Losungen in den Flächen ohne und mit Düngung legt dies auch in dem engeren Sinne nahe, daß die Collembolen tatsächlich genau gleichartige Nahrung wie die Enchyträen aufgenommen haben, das heißt auch, daß sie überwiegend als Sekundärzersetzer tätig waren.

5. Dank

Wir danken Herrn Prof. Dr. W. FUNKE, Ulm, und seinen Mitarbeitern für ihre Unterstützung in Rat und Tat, für Laborarbeiten den Frauen H. BASTINE und S. RUDOLPH und Herrn E. BELOTTI für Diskussionen.

6. Literatur

BABEL, U., 1968/69. Enchyträen-Losungsgefüge in Löß. Geoderma **2**, 57–63.
BAL, L., 1982. Zoological ripening of soils. 365 pp., Pudoc, Wageningen.
BULLOCK, P. *et al.*, 1985. Handbook for soil thin section description. 152 pp., Waine Res. Publ., Wolverhampton, England.
DUNGER, W., 1963. Leistungsspezifität bei Streuzersetzern. In: DOEKSEN, J., & J. VAN DER DRIFT (eds.), Soil Organisms. pp. 92–102. North Holland Publ. Comp., Amsterdam.
FUNKE, W., 1986. Tiergesellschaften im Ökosystem „Fichtenforst" (Protozoa, Metazoa-Invertebrata) – Indikatoren von Veränderungen in Waldökosystemen. 150 pp., KfK-PEF 9, Kernforschungszentrum Karlsruhe.
KUBIENA, W., 1943. Beiträge zur Bodenentwicklungslehre, Entwicklung und Systematik der Rendsinen. Z. Pfl.-ernährung, Düngung, Bodenkunde **29**, 108–119.
MURPHY, C. *et al.*, 1985. Description of soil thin sections: an international comparison. Geoderma **35**, 15–37.
ROTH, M., 1984. Die Coleopteren im Ökosystem „Fichtenforst". Diss. Universität Ulm.
RUSEK, J., 1975. Die bodenbildende Funktion von Collembolen und Acarina. Pedobiologia **15**, 299–308.
TAKEDA, H., & T. ISHIMURA, 1983. Feeding attributes of four species of Collembola in a pine forest. Pedobiologia **25**, 373–381.
VAVOULIDOU-THEODOROU, E., & U. BABEL, 1987. Ein Bewässerungsversuch zur Dynamik von Humusprofilen in Nadelholzbeständen mit Wuchsstörung. Pedobiologia **30**, 389–399.

Vliet-Lanoe, B. van, 1987. Interactions entre l'activité biologique et la glace de ségrégation en lentilles. pp. 337–343. In: N. Fedoroff *et al.* (eds.), Soil micromorphology. 586 pp., Assoc. Franc. Etude Sol, F-78370 Plaisir, Frankreich.

Vogel, H. J., 1988. Humusmikromorphologische Veränderungen in gedüngten Fichtenbeständen. Diplomarbeit Inst. Bodenkunde Standortslehre, Fakultät Pflanzenprodunktion Landschaftsökologie, Universität Hohenheim, Stuttgart.

Zachariae, G., 1963. Was leisten Collembolen für den Waldhumus? pp. 109–124. In: J. Doeksen & J. van der Drift, Soil Organisms. North Holland Publ. Comp., Amsterdam.

Zachariae, G., 1964. Welche Bedeutung haben Enchyträen im Waldboden? pp. 57–68. In: A. Jongerius (ed.), Soil Micromorphology. Elsevier. Amsterdam.

Synopsis: *Original scientific paper*

Babel, U., & H. J. Vogel, 1989. Zur Beurteilung der Enchyträen- und Collembolen-Aktivität mit Hilfe von Bodendünnschliffen [An evaluation of the activity of Enchytraeidae and Collembola by soil thin sections]. Pedobiologia **33**, 167–172.

After mineral fertilization (Ca, Mg) of a spruce stand, great changes in abundances of Enchytraeidae and Collembola were found. Consequently, a change in those small aggregates which could be regarded as excrements of these animals was expected, but no differences in amount, size and shape of mini-aggregates were found. Only composition of aggregates seems to be different on account of the relative higher frequency of larger tissue fragments which may be produced by Collembola (Enchytraeidae are secondary decomposers and their excrements therefore do not include larger particles). However, in practice, excrements of these two groups of animals couldn't be distinguished in examined thin sections.

The fact that, one year after fertilization, the amount of excrements was not changed, may be explained by occurrence of Collembola succeeding Enchytraeidae. Collembola seem to have occupied the niche of Enchytraeidae, feeding as secondary decomposers on nearly the same food stuff.

Key words: Picea abies, fertlization (Ca, Mg), moder, soil thin sections, morphometry, mini-aggregates, Enchytraeidae, Collembola, excrements.

Address of corresponding authors: Prof. Dr. Ulrich Babel, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 27, Postfach (P.O. Box) 700562, Stuttgart 70, D-7000.